

**PATENT APPLICATION**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re the Application of

Osamu MITOMI et al.

Application No.: 10/628,477

Filed: July 29, 2003

For: OPTICAL WAVEGUIDE DEVICES AND TRAVELLING WAVE TYPE OPTICAL  
MODULATORS



Group Art Unit: Unknown

Examiner: Unknown

Docket No.: 116723

**CLAIM FOR PRIORITY**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

JP 2002-231359, filed August 8, 2002

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

XX is filed herewith.

           was filed on        in Parent Application No.        filed       .

           will be filed at a later date.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

James A. Oliff  
Registration No. 27,075

Joel S. Armstrong  
Registration No. 36,430

JAO:JSA/jam

Date: October 10, 2003

**OLIFF & BERRIDGE, PLC**  
**P.O. Box 19928**  
**Alexandria, Virginia 22320**  
**Telephone: (703) 836-6400**

**DEPOSIT ACCOUNT USE  
AUTHORIZATION**

Please grant any extension  
necessary for entry;

Charge any fee due to our  
Deposit Account No. 15-0461

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2002年 8月 8日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2002-231359

[ ST.10/C ]:

[ JP 2002-231359 ]

出 願 人  
Applicant(s):

日本碍子株式会社

2003年 6月20日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3048847

【書類名】 特許願

【整理番号】 02P00379

【提出日】 平成14年 8月 8日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/00

【発明の名称】 光導波路デバイスおよび進行波形光変調器

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

【氏名】 三富 修

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

【氏名】 青木 謙治

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

【氏名】 近藤 順悟

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内

【氏名】 近藤 厚男

【特許出願人】

【識別番号】 000004064

【氏名又は名称】 日本碍子株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097490

【弁理士】

【氏名又は名称】 細田 益稔  
【選任した代理人】  
【識別番号】 100097504  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 青木 純雄  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 082578  
【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1  
【包括委任状番号】 0103626  
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波路デバイスおよび進行波形光変調器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電気光学材料からなり、一方の主面と他方の主面とを備えている基板本体、この基板本体に形成されている光導波路、および前記基板本体の前記一方の主面側に設けられた電極を備えている光導波路基板と、この光導波路基板を保持する保持基体とを備える光導波路デバイスであって、

前記保持基体が前記基板本体の前記他方の主面側に接合されており、前記電極がフィードスルー部を備えており、少なくともこのフィードスルー部において前記基板本体の前記他方の主面下に低誘電率部分が設けられていることを特徴とする、光導波路デバイス。

【請求項 2】 前記低誘電率部分の少なくとも一部が、前記電気光学材料の比誘電率よりも低い比誘電率を有する材料からなることを特徴とする、請求項 1 記載のデバイス。

【請求項 3】 前記他方の主面の前記光導波路に対応する領域が、空隙または固形の低誘電率材料に面していることを特徴とする、請求項 1 または 2 記載のデバイス。

【請求項 4】 前記低誘電率部分が、前記保持基体と前記基板本体の前記他方の主面とを接合する接合層であることを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

【請求項 5】 前記接合層の厚さが  $5\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする、請求項 4 記載のデバイス。

【請求項 6】 前記低誘電率部分が、前記保持基体と前記基板本体の前記他方の主面との間に介在する樹脂シートであることを特徴とする、請求項 1 ～ 5 のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

【請求項 7】 前記樹脂シートの厚さが  $5\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする、請求項 6 記載のデバイス。

【請求項 8】 前記基板本体の厚さが、前記光導波路の領域において  $100\ \mu\text{m}$  以下であることを特徴とする、請求項 1 ～ 7 のいずれか一つの請求項に記載のデバ

イス。

【請求項 9】前記光導波路基板の前記他方の主面側に凹部が形成されていることを特徴とする、請求項 1～8 のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

【請求項 10】前記基板本体が、前記凹部に面する第一の肉薄部分と、前記凹部に面し、前記第一の肉薄部分よりも厚さの小さい第二の肉薄部分とを備えており、前記光導波路が前記第一の肉薄部分内に設けられていることを特徴とする、請求項 9 記載のデバイス。

【請求項 11】少なくとも前記フィードスルー部において前記保持基体の表面に導電層が設けられていることを特徴とする、請求項 1～10 のいずれか一つの請求項に記載のデバイス。

【請求項 12】請求項 1～11 のいずれか一つの請求項に記載のデバイスを備えている進行波形光変調器であって、前記光導波路中を伝搬する光を変調するための電圧を前記電極によって印加することを特徴とする、進行波形光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路デバイスおよび進行波形光変調器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ )、タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ )、ガリウム砒素 ( $\text{GaAs}$ ) を光導波路に適用した進行波形光変調器は、優れた特性を備えており、高能率で高帯域化を達成できる可能性がある。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムは、強誘電体として非常に優れた材料であり、電気光学定数が大きく、短い光路で光の制御が可能であるという利点を有している。進行波形光変調器の変調速度を制限する要因としては、速度不整合、分散および電極損失、誘電損失などが挙げられる。

【0003】速度不整合について、更に説明する。進行波形電極においては、光導波路中を進行する光と、電極中を伝搬する電気信号（マイクロ波）との速度は、大きく異なっている。結晶中を伝搬する光の速度を  $V_0$  とし、マイクロ波の速度を  $V_m$  とする。例えば、プレーナ型電極を有する  $\text{LiNbO}_3$  光変調器の場合

には、次のようになる。まず、 $\text{LiNbO}_3$  単結晶の光の実効屈折率は 2.15 であり、光導波路中を進行する光の速度は、これに反比例する。一方、マイクロ波の実効屈折率は、導体近傍の誘電率の平方根によって与えられる。 $\text{LiNbO}_3$  単結晶の誘電率は、一軸性であり、Z 軸方向が 28、X 軸方向、Y 軸方向が 43 である。従って、誘電率が 1 である空気の影響を考慮しても、従来の構造の  $\text{LiNbO}_3$  光変調器におけるマイクロ波の実効屈折率は約 4 となり、2.15 の約 1.9 倍になる。従って、光波の速度はマイクロ波の速度よりも約 1.9 倍大きい。

【0004】光変調帯域幅  $f_m$  ないし変調速度の上限は、光波とマイクロ波との速度差の逆数に比例する。即ち、 $f_m = 1 / (V_0 - V_m)$  が成立する。従って、電極損失を 0 と仮定すると、帯域幅  $f_m \times$  電極長  $l = 9.2 \text{ GHz} \cdot \text{cm}$  が限界となる。実際に、電極長  $l = 2.5 \text{ mm}$  の光変調器において、 $f_m = 40 \text{ GHz}$  という値が報告されている。この動作速度の限界による影響は、電極が長いほど、顕著になる。従って、広帯域であって、高能率特性を有する光変調器の実現が強く望まれている。

【0005】信号マイクロ波と光波の速度整合を取る方法としては、光導波路基板の厚さを例えば  $10 \mu\text{m}$  と薄くすることが考えられる。

【0006】本出願人は、特開平 10-133159 号公報において、進行波形光変調器の基板の光導波路の下に肉薄部分を設け、この肉薄部分の厚さを例えば  $10 \mu\text{m}$  以下に薄くすることを開示した。これによって、酸化珪素からなるバッファ層を形成することなしに高速光変調が可能であるし、駆動電圧  $V_\pi$  と電極の長さ  $L$  との積 ( $V_\pi \cdot L$ ) を小さくできるので、有利である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】高速光変調器の電極の高周波取り出し部（フィードスルー部）は、コネクタピンとの接続を図るために、一般に変調部より中心電極幅を広げた構造となっている。このため、 $50 \Omega$  系に特性インピーダンス整合を図るためには、接地電極と中心電極とのギャップを広くする必要がある。しかし、電極間ギャップを広くすると、電極部での構造分散が大きくなる。また、光変調器側の電極間ギャップが、接続すべきコネクタピンの電極間ギャップと大

きく異なるために、浮遊インダクタンスおよび浮遊容量が大きくなる。この結果、電極の高周波特性劣化を引き起こす。

【0008】本発明の課題は、光導波路デバイスの電極のフィードスルー部において、外部コネクタピンとの特性インピーダンス整合を図りつつ、電極部での構造分散を小さくし、浮遊インダクタンスおよび浮遊容量を低減できるような構造を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、電気光学材料からなり、一方の主面と他方の主面とを備えている基板本体、この基板本体に形成されている光導波路、および基板本体の一方の主面側に設けられた電極を備えている光導波路基板と、この光導波路基板を保持する保持基体とを備える光導波路デバイスであって、保持基体が基板本体の他方の主面側に接合されており、電極がフィードスルー部を備えており、少なくともこのフィードスルー部において基板本体の他方の主面下に低誘電率部分が設けられていることを特徴とする。

【0010】少なくともフィードスルー部において基板本体の他方の主面下に低誘電率部分を設けることによって、電極間ギャップをあまり広くすることなく、インピーダンスマッチングを行うことができる。この結果、電極の構造分散を抑えることができる。また、光変調器側の電極間ギャップと、接続すべきコネクタピンの電極間ギャップとの差を小さくできることから、浮遊インダクタンスおよび浮遊容量を低減可能である。

【0011】以下、適宜図面を参照しつつ、本発明を詳細に説明する。

図1は、本発明の実施形態に係る光変調器1Aを概略的に示す平面図であり、図2は、図1のI I - I I 線断面図であり、図3は、図1のI I I - I I I 線断面図である。

【0012】光変調器1Aは、光導波路基板22と保持基体10とを備えている。基板本体2、保持基体10は共に平板形状をしている。基板本体2の一方の主面2a上には所定の電極4A、4B、4Cが形成されている。本例では、4A、4Cが接地電極であり、4Bが中心電極である。本例では、いわゆるコプレーナ型(Coplanar waveguide: CPW電極)の電極配置を採用しているが、電極の配



置形態は特に限定されない。本発明は、いわゆる非対称コプレーナストリップライン (Asymmetric coplanar strip line: A-CPS 電極) 型の電極配置にも適用できる。また、本発明は、いわゆる独立変調型の進行波形光変調器に対しても適用できる。

【0013】また、本例では、接地電極 4 A と中心電極 4 B との間、および中心電極 4 B と接地電極 4 C との間に、それぞれ光導波路 3 の分岐部分 3 a、3 b が形成されており、各分岐部分 3 a、3 b に対して略水平方向に信号電圧を印加するようにになっている。光導波路 3 は、平面的に見るといわゆるマッハツェンダー型の光導波路を構成している。

【0014】基板本体 2 の他方の主面 2 b と保持基体 1 0 の表面 1 0 a とは、互いに接合層 7 によって接合されている。本例においては、接合層 7 が、ある程度の厚みを有しており、これによって接合層 7 の内側に空隙部 6 が形成されている。

【0015】光導波路基板 2 2 の電極には一対のフィードスルー部 A、B が設けられている。各フィードスルー部 A、B において、各接地電極および中心電極が、外部のコネクタピンに対して接続される。ここで、コネクタピンにおける特性インピーダンスが所定値、例えば 50 Ω に規定されていることから、各フィードスルー部における電極の特性インピーダンスも所定値に規格化する必要がある。このためには、中心電極 4 B の接続部 8 A、8 B の幅を大きくし、また接地電極と中心電極とのギャップ 9 A、9 B を大きくすることが必要である。この結果、電極の構造分散が大きくなり、またコネクタピンにおける電極間ギャップとの差も大きくなる。

【0016】ここで、少なくともフィードスルー部 A、B の領域において、基板本体 2 の他方の主面 2 b と保持基体 1 0 との間に低誘電率部分を設ける必要がある。本例においては、接合層 7 の全体を低誘電率材料によって形成する。これによって、フィードスルー部 A、B の領域において、基板本体 2 の他方の主面 2 b と保持基体 1 0 との間に低誘電率部分を設けている。

【0017】こうした構造によれば、電極間ギャップが同じであっても、各フィードスルー部 A、B において、高周波電極の特性インピーダンスを上昇させるこ

とができ、特性インピーダンスの整合が容易になる。従って、電極間ギャップをあまり広くすることなく、インピーダンス整合をとることができる。この結果、電極の構造分散を抑えることができる。また、光変調器側の電極間ギャップと、接続するべきコネクタピンの電極間ギャップとの差を小さくできることから、浮遊インダクタンスおよび浮遊容量を低減可能である。

【0018】光導波路基板を構成する基板本体は、強誘電性の電気光学材料、好ましくは単結晶からなる。こうした結晶は、光の変調が可能であれば特に限定されないが、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、ニオブ酸カリウムリチウム、KTP、GaAs 及び水晶などを例示することができる。ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶が、特に好ましい。

【0019】電極は、低抵抗でインピーダンス特性に優れる材料であれば特に限定されるものではなく、金、銀、銅などの材料から構成することができる。

【0020】保持基体によるマイクロ波の伝搬速度への影響を最小限とするという観点からは、保持基体の材質は、電気光学単結晶の比誘電率よりも低い比誘電率を有する材質であることが好ましい。こうした材質としては、石英ガラス等のガラスがある。

【0021】基板本体の線熱膨張係数と保持基体の線熱膨張係数との差を±50%以下とすることによって、環境温度が変化したときの光変調の度合いの変化を抑制することができる。この場合には、基板本体の材質と保持基体の材質とは、同種であってもよく、異種であってもよい。

【0022】また、保持基体を、光導波路基板の電気光学単結晶の比誘電率と異なる比誘電率を有する材質によって形成することができる。この場合には、保持基体を、基板本体を構成する単結晶と同種の単結晶によって形成することが特に好ましい。

【0023】保持基体を構成する材質、特に単結晶と、基板本体を構成する材質、特に単結晶とが同種のものであるとは、基本組成（例えば全体の80mol%以上を占める基本組成）が同一であれば足り、他の添加成分には異同があってもよい。

【0024】基板本体の表面（一方の主面）と電極との間にはバッファ層を設けることができる。バッファ層は、酸化シリコン、弗化マグネシウム、窒化珪素、及びアルミナなどの公知の材料を使用することができる。

【0025】光導波路は、基板本体に形成されており、好ましくは基板本体の一方の主面側に形成されている。光導波路は、基板本体の一方の主面に直接形成されたリッジ型の光導波路であってよく、基板本体の一方の主面の上に他の層を介して形成されたリッジ型の光導波路であってよく、また基板本体の内部に内拡散法やイオン交換法によって形成された光導波路、例えばチタン拡散光導波路、プロトン交換光導波路であってよい。電極は、基板本体の一方の主面側に設けられているが、基板本体の一方の主面に直接形成されていてよく、バッファ層の上に形成されていてよい。

【0026】基板本体においては、特に好ましくは結晶の分極軸が基板の一方の主面（表面）と略水平である。この場合には、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶からなるX板あるいはY板が好ましい。図1～図3には、本発明をX板あるいはY板に適用した例について示した。

【0027】また、他の好適な実施形態においては、結晶の分極軸が基板の一方の主面（表面）と略垂直である。この場合には、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体単結晶からなるZ板が好ましい。Z板を使用した場合には、光導波路は電極の直下に設ける必要があり、光の伝搬損失を低減するために、基板の表面と電極との間にはバッファ層を設けることが好ましい。

【0028】本発明において、少なくともフィードスルー部に設ける低誘電率部分とは、基板本体を構成する電気光学材料の比誘電率よりも低い比誘電率を有する部分を意味する。（低誘電率部分の比誘電率）／（基板本体を構成する電気光学材料の比誘電率）は、 $1/3$ 以下であることが好ましく、 $1/10$ 以下であることが更に好ましい。

【0029】低誘電率部分は空隙であってよい。また、低誘電率部分は、基板本体を構成する電気光学材料の比誘電率よりも低い比誘電率を有する固形材料から

なっていてよい。

【0030】好適な実施形態においては、基板本体の他方の主面の光導波路に対応する領域が、空隙または低誘電率材料に面している。これによって、高速光変調時の速度整合を実現することができる。例えば、図1～図3の例では、基板本体2の他方の主面2bの光導波路3a、3bに対応する領域が、空隙6に面している。この空隙6の一部または全部に低誘電率材料を充填することができる。ここで言う低誘電率材料とは、基板本体2を構成する電気光学材料の比誘電率よりも低い比誘電率を有する材料のことである。(低誘電率材料の比誘電率) / (基板本体を構成する材質の比誘電率) は、 $1/3$  以下であることが好ましく、 $1/10$  以下であることが更に好ましい。

【0031】本発明においては、少なくともフィードスルー部A、B下において、基板本体2と保持基体10との間に低誘電率部分を設ける。

【0032】基板本体2下において、フィードスルー部A、B以外の領域には、低誘電率部分を設けることもできるが、必ずしもその必要はない。フィードスルー部A、B以外の領域、例えば二つのフィードスルー部AとBとの間の領域C(図1)においても、基板本体2下に低誘電率部分を設けることができる。また、領域A、B以外の領域、更にC以外の領域にも低誘電率部分を設けることができる。しかし、領域A、B以外においては、基板本体と保持基体との間に、基板本体を構成する低誘電率材料の比誘電率以上の比誘電率を有する材料を設けることもできる。このような材料としては、アルミナ、窒化アルミ、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ガリウムヒ素、酸化シリコンを例示できる。

【0033】更に、保持基体の全体を低誘電率材料によって形成することができる。この場合にも、保持基体が、フィードスルー部において低誘電率部分として働く。

【0034】好適な実施形態においては、保持基体と基板本体の他方の主面とを接合する接合層を設け、接合層の内側に空隙を設ける。あるいは空隙の一部または全部に低誘電率材料を充填することができる。例えば図1の例では、接合層7の内側に空隙6を設けている。これによる作用効果を以下に述べる。

【0035】本発明者は、進行波形光変調器の製造プロセスを研究する過程にお

いて、特開平 1 0 - 1 3 3 1 5 9 号公報記載のように光導波路基板の他方の主面側に凹部を加工によって形成し、例えば厚さ  $10\ \mu\text{m}$  以下の肉薄部分を設けることを試みていたが、次の問題点があることを発見した。図 1 3 にこうした基板 1 6 を概略的に示す。この基板 1 6 の他方の主面 1 6 b 側から、例えばレーザー加工や研削加工によって深い凹部 1 7 を形成する。加工前の基板の厚さは例えば  $0.3\text{mm}$  であり、肉薄部分 1 6 c の厚さは例えば  $10\ \mu\text{m}$  である。基板 1 6 に肉厚部分 1 6 a を残すことによって、基板の強度を保持する。1 6 d は加工面である。

【0 0 3 6】現実の加工プロセスにおいては、図 1 3 に示すような理想的な形状に加工することは難しい。例えばレーザー加工によって凹部 1 7 を形成しようとすると、レンズの焦点がずれてしまうために、凹部 1 7 が深くなるにつれて、加工面 1 6 d が湾曲し、丸みを帯びてくる。このため、肉薄部分 1 6 c の厚さを一定に保つことができず、肉薄部分 1 6 c の中央部分は肉薄部分の端に比べてかなり薄くなる。この結果、十分に広い面積にわたって肉薄部分 1 6 c の厚さを規定値、例えば  $10\ \mu\text{m}$  にしようと試みると、実質的にこの厚さと等価とするには、肉薄部分 1 6 c の中央が著しく薄くなり、1 6 e のように破壊する。砥石を用いて研削加工を試みても、これと同様の問題点が生ずる。

【0 0 3 7】これに対して、前記実施形態においては、デバイス全体の強度付与を別体の保持基体によって担うことができ、光導波路基板を保持基体に対して接合することで光導波路基板の取り扱いに十分な強度を付与することができる。この結果、光導波路基板の方は、強度付与のための肉厚部分を設ける必要がないので、基板本体を全体に薄くできる。これと共に、接合層の内側に空隙ないし低誘電率材料を設けることによって、電極を伝搬するマイクロ波の伝搬速度を向上させることができる。従って、デバイス全体に取り扱いに耐える強度を付与ことができ、かつ光導波路基板の反りを防止できる。また、光導波路基板の肉薄部分の加工に伴うクラック、破壊による不良品を抑制できる。そして、光導波路基板を薄くし、かつ電極に印加される信号波の伝搬速度を速くできる。

【0 0 3 8】例えば、図 1 ～図 3 に示すデバイス 1 A によれば、デバイス全体の強度は、比較的的肉厚な保持基体 1 0 によって主として保持できるので、デバイ

ス全体に取り扱い可能な強度を付与でき、かつ基板本体 2 の反りも生じない。これと共に、基板本体 2 は比較的薄くできるのと共に、接合層 7 を厚くすることによって、電極を伝搬するマイクロ波の伝搬速度を大きくすることができる。基板本体 2 の厚さ  $t_w$  が小さく（薄く）なるほど、マイクロ波の伝搬速度は大きくなる。また、空隙 6 の深さ（ $T_y$ ）が大きくなるほど、マイクロ波の伝搬速度は大きくなる。

【0039】更に、ここで重要なことは、保持基体 10 の空隙 6 への露出面 10c の形状がどのようなようになっていようと、光導波路を伝搬する光波や、電極を伝搬するマイクロ波信号に対しては、ほとんど影響を与えないことである。なぜなら、露出面 10a は、光導波路 3a、3b や電極 4A-4C とは離れているからである。従って、露出面 10a の形状が湾曲形状になったり、あるいは保持基体 10 の厚さが一定になっていなくとも、光の変調に対しては影響はほとんどない。

【0040】一方、図 13 に示したように、光導波路基板の裏面側に凹部を形成した場合には、凹部の内壁面の形状が湾曲したり、肉薄部分の厚さが不均一になったりすると、光導波路を伝搬する光波や電極を伝搬するマイクロ波信号に対して影響を及ぼす。

【0041】好適な実施形態においては、フィードスルー部下の前記低誘電率部分が、保持基体と基板本体の他方の主面とを接合する接合層として機能する。

【0042】また、好適な実施形態においては、フィードスルー部下の低誘電率部分が、保持基体と基板本体の他方の主面との間に介在する樹脂シートである。

【0043】接合層の材質は特に限定されないが、熱硬化型接着剤、紫外線硬化性接着剤、ニオブ酸リチウムなどの電気光学効果を有する材料と比較的近い熱膨張係数を有する接着剤、例えばアロンセラミックス C（商品名、東亜合成社製）（熱膨張係数  $13 \times 10^{-6} / K$ ）を例示できる。

【0044】樹脂シートは特に限定されないが、厚さ  $300 \mu m$  以下のフィルム樹脂が適当であり、具体的に日立化成製の T-2000、日清紡製カルボジライトフィルム、ナガセケムテック製 A-1400、A-1500、A-1600 を例示できる。

【0045】接合層の厚さ、樹脂シートの厚さは、光導波路下の空隙または低誘

電率材料の厚さを大きくして変調速度を向上させるという観点からは、 $5\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。

また、低誘電率層として用いる好適な低誘電体材料としては、高周波変調信号の伝搬損失を低減する観点から低誘電体損(低 $\tan\delta$ )を有する材料を用いることが望ましい。このような低誘電率、低誘電体損の材質としてはテフロン、アクリル系接着剤が例示できる。

【0046】また、他の低誘電率材料としては、ガラス系接着剤。エポキシ系接着剤。半導体製造用層間絶縁体。ポリイミド樹脂を例示できる。

【0047】好適な実施形態においては、少なくともフィードスルー部において保持基体表面に導電層を設ける。図4、図5は、この実施形態に係るデバイス1Bを示す。図4は、図1のI-V線-I-V線断面に対応しており、図5は、図1のV-V線断面に対応している。本例においては、保持基体10の表面10aを被覆するように導電層23が形成されている。

【0048】このように保持基体10の表面を被覆するように導電層23を設けることによって、空洞共振モードを光変調器の変調周波数から外すことが可能である。しかし、特にフィードスルー部においては、導電層23により、特性インピーダンスが非常に小さくなってしまふことがある。しかし、本発明を用いて低誘電率層7を挿入し、低誘電率層7と保持基体10との間に導電層23を設ければ、フィードスルー部においても特性インピーダンスを高く保持できる。これと共に、空洞共振モードを抑圧することが可能である。

【0049】導電層23の材質としては、金、銅、銀、白金、アモルファスシリコン、アルミ、チタンを例示できる。

【0050】導電層23の厚さは、空洞共振を抑制するという観点からは、 $1\text{nm}$ 以上であることが好ましい。

【0051】以下、基板本体と保持基体とを接合層によって接合し、接合層の内側に空隙および／または低誘電率材料を設ける例について図示する。図6、図7、図8、図9は、それぞれ、光導波路デバイス1C、1D、1E、1Fを概略的に示す断面図である。図6～図9において、図1～3に示した構成部分には同じ符号を付け、その説明を省略する。

【0052】図6のデバイス1Cの光導波路基板22においては、基板本体2Aの他方の主面2b側には凹部2eが形成されており、凹部2eに対して、2つの第二の肉薄部分2dと1つの第一の肉薄部分2fとが面している。2fは一对の肉薄部分2dによって挟まれている。各肉薄部分2dの外側には、2fよりも厚さの大きい基部2cが設けられている。

【0053】本例では、保持基体10は略平板形状をしており、保持基体10中には空隙部分ないし低誘電率部分は設けられていない。保持基体10の平坦な表面10aが、厚さ $t_y$ の接合層7によって、基板本体2Aの接合面2bに対して接合されている。7a、7bは接合層7の接合面である。この結果、基板本体2Aの他方の主面2bと、保持基体10の平坦面10aとの間には、接合層7によって挟まれた空隙部分6が形成され、接合層7の内側面7cが空隙部分6に面する。

【0054】このように、接合層7の内側に空隙部分6を設け、あるいは空隙6の一部または全部に低誘電率材料を充填することによって、前述したような高速変調が可能となる。

【0055】図7の変調器1Dにおいては、凹部2eに対して、2つの第二の肉薄部分2dと1つの第一の肉薄部分2fとが面している。2fは一对の肉薄部分2dによって挟まれている。各肉薄部分2dの外側には、2fとほぼ同じ厚さの基部2gが設けられている。

【0056】好適な実施形態においては、保持基体に低誘電率部分を設けると同時に、接合層の内側にも低誘電率部分を設けることができる。図8は、こうした実施形態に係るものである。

【0057】図8のデバイス1Eの光導波路基板は、図7に示した光導波路基板と同様のものである。本例では、保持基体11に凹部11cが形成されている。保持基体11は、平板状部11aと、平板状部11aから突出する側壁部11bとを備えており、側壁部11bの内側が凹部11cになっている。保持基体11の一方の主面11dが接合層7の接合面7bに接合されており、接合層7の接合面7aが基板本体2Bの裏面2bに接合されている。

【0058】本例では、保持基板11に形成された空隙部分12、接合層7の内



側に形成された空隙部分 6、および基板本体 2 B の他方の主面 2 b 側に形成された凹部 2 e が連続し、一体の空隙部分を形成している。

【0059】図 9 のデバイス 1 F においては、保持基体 1 0 の表面 1 0 a に凹面 1 0 c が設けられている。この凹面は、好ましくは滑らかな湾曲面である。

【0060】光波とマイクロ波との速度整合を容易とするという観点からは、光導波路の領域において、低誘電率部分の厚さの合計値  $T_a$  を  $5\ \mu\text{m}$  以上とすることが好ましく、 $30\ \mu\text{m}$  以上とすることが一層好ましい。

【0061】また、保持基体内における低誘電率部分の厚さ  $d$ 、接合層の厚さ  $t_y$  は、 $T_a$  の目標値に合わせて決定する。ただし、接合層の内側の低誘電率部分の高速変調への寄与を得るためには、 $t_y$  が  $5\ \mu\text{m}$  以上であることが好ましい。

【0062】光波とマイクロ波との速度整合を容易とするという観点からは、低誘電率部分の幅  $W_a$  を  $5\ \mu\text{m}$  以上とすることが好ましく、 $100\ \mu\text{m}$  以上とすることが一層好ましい。

【0063】好適な実施形態においては、基板本体が、凹部に面する相対的に厚さの大きい第一の肉薄部分と、凹部に面する相対的に厚さの小さい第二の肉薄部分とを備えており、光導波路が第一の肉薄部分内に設けられている（図 6、7、8、9 参照）。

【0064】例えば  $10\ \text{GHz}$  以上の電気信号で動作する進行波形光変調器において速度整合を達成するためには、基板本体の肉薄部分の厚さを  $10\ \mu\text{m}$  程度まで薄くすることが一般的に必要である。しかし、肉薄部分の上と下とは通常は大気が接触しており、大気の屈折率は電気光学結晶の屈折率よりもはるかに低い。この結果、薄肉部分の厚さが  $10\ \mu\text{m}$  近辺になると、光導波路を伝搬する光ビームの断面形態が扁平化する傾向があった。一方、進行波形光変調器と結合される外部の光ファイバー内を伝搬する光ビームの形態は、ほぼ真円形状である。このため、光ファイバー内を伝搬する光ビームの強度分布と進行波形光変調器内の光導波路を伝搬する光ビームの強度分布との不一致が大きくなるので、光エネルギーが有効に伝搬されず、結合損失となるおそれがある。

【0065】これに対して、基板本体 2 に、凹部 2 e に面する相対的に厚さの大きい第一の肉薄部分 2 f と、凹部 2 e に面する相対的に厚さの小さい第二の肉薄

部分 2 d とを設け、光導波路を第一の肉薄部分 2 f に設けることによって、このような結合損失を一層低減できる。

【0066】第一の肉薄部分 2 f の厚さ  $t_w$  は、マイクロ波の実効屈折率  $n_m$  を顕著に低減するという観点からは  $100\ \mu\text{m}$  以下であることが好ましく、 $20\ \mu\text{m}$  以下が更に好ましい。第一の肉薄部分 2 f の厚さ  $t_w$  は、光導波路を伝搬する光ビームの偏平化を防止し、更に機械強度を保持するという観点からは、 $1\ \mu\text{m}$  以上が好ましい。

【0067】第二の肉薄部分 2 d の厚さ  $t_n$  は、マイクロ波の実効屈折率  $n_m$  を顕著に低減するという観点からは、第一の肉薄部分 2 f の厚さ  $t_w$  未満であることが好ましく、 $12.5\ \mu\text{m}$  以下であることが更に好ましく、 $10\ \mu\text{m}$  以下であることが一層好ましい。

【0068】本発明においては、保持基体の全体が低誘電率材料からなっているもよい。この場合には、当然、フィードスルー部の直下にも低誘電率部分が存在することになる。

【0069】図 10 は、この実施形態に係るデバイス 1 G を概略的に示す断面図である。本例の保持基体 15 の全体が低誘電率材料からなる。保持基体 15 の主面 15 a に対して、図示しない接着剤によって基板本体 2 の他方の主面 2 b が接着されている。

【0070】図 11 に示すデバイス 1 H においては、保持基体 20 の表面 20 a 上に、低誘電率層 21 を介して基板本体 2 が接合されている。低誘電率層 21 は、基板本体 2 の他方の主面 2 b のほぼ全面にわたって接合されており、前述のような空隙は形成されていない。

【0071】図 12 に示すデバイス 1 J においては、保持基体 18 が、平板状部 18 a と、平板状部 18 a から突出する突起 18 b とを備えている。突起 18 b の表面 18 c に対して基板本体 2 の他方の主面 2 b が接合されている。また、平板状部 18 a の表面 18 d と基板本体 2 の他方の主面 2 b との間には、低誘電率層 19 A、19 B が設けられている。低誘電率層 19 A、19 B は、前述のような低誘電率材料からなる。そして、特に低誘電率層 19 A は、フィードスルー部 A、B の直下において、基板本体 2 の他方の主面 2 b 側に存在しており、フィー

ドスルー部における電極の特性インピーダンスの向上に寄与する。

【0072】 好適な実施形態においては、基板本体の厚さ  $t_w$  が、光導波路の領域において  $50\ \mu\text{m}$  以下である。これによって、光波とマイクロ波との速度整合をとることが一層容易となる。この観点からは、 $t_w$  を  $20\ \mu\text{m}$  以下とすることが更に好ましい。

【0073】 また、光導波路の領域における基板本体の厚さ  $t_w$  は、基板本体の割れやクラックを防止するという観点からは、 $5\ \mu\text{m}$  以上であることが好ましい。

。

【0074】 また、好適な実施形態においては、基板本体の最大厚さ  $t_{max}$  が  $500\ \mu\text{m}$  以下であり、特に好ましくは  $100\ \mu\text{m}$  以下である。即ち、本発明においては、前述のように、保持基体の主としてデバイスの強度保持機能を担わせることができる。従って、 $t_{max}$  を小さくしてもデバイスの強度の観点からは問題ない。その上で、光導波路基板の最大厚さ  $t_{max}$  を小さくすることによって、 $t_w$  も小さくすることが容易になる。なぜなら、基板本体の厚さが全体として一定であれば、 $t_{max}$  は  $t_w$  と等しくなるからである。また、基板本体に凹部を形成することによって  $t_w$  を小さくしている場合には、 $t_{max}$  が大きいと前述のような加工上の問題が生ずる。しかし、 $t_{max}$  を小さくすれば、つまり最初から比較的薄い基板本体を使用すれば、前述のような加工による問題が生じにくい。

【0075】 基板本体の最大厚さ  $t_{max}$  は、基板本体を取り扱う際における基板本体の割れやクラックを防止するという観点からは、 $10\ \mu\text{m}$  以上とすることが好ましい。

【0076】

【実施例】 図9に示す形態の光変調器1Fを製造した。ただし、その平面形状は図1のとおりであり、フィードスルー部の形態は図3に示すとおりである。Xカットした3インチウエハー ( $\text{LiNbO}_3$  単結晶) からなる基板を使用し、チタン拡散プロセスとフォトリソグラフィ法とによって、ウエハーの表面にマッハツェンダー型の光導波路3を形成した。光導波路3のサイズは、例えば  $1/e^2$  で  $10\ \mu\text{m}$  とできる。次いで、メッキプロセスにより、CPW電極を形成した。

【0077】ニオブ酸リチウム単結晶からなる保持基体10を準備した。基板本体2と保持基体10との間に、厚さ60 $\mu$ mのエポキシ系熱硬化型樹脂からなるシートを挟み、80℃で加熱することによってシートを熱硬化させ、接合層7を生成させ、基板本体2と保持基体10とを接着した。この際、接合層7の内側には樹脂が流入しないようにした。空隙6の幅W<sub>a</sub>は約300 $\mu$ mである。次に、ウエハーを定盤から取り外し、有機溶剤を用いた洗浄によってステッキワックスを除去した。ウエハーをダイシングソー加工機で切断し、各光変調器チップ1Fに分割した。各チップの光導波路の端面を光学研磨した。

【0078】1.5 $\mu$ mシングルモード光ファイバーを保持した単芯ファイバーアレイを作製し、これを進行波形光変調器チップ1Fに結合し、光ファイバーと光導波路とを調芯し、紫外線硬化型樹脂によって接着した。ベクトルネットワークアナライザによりマイクロ波特性を測定した結果、マイクロ波屈折率は2.15と良好な性能が得られた。

【0079】次に、有限要素法(FEM)を用いた数値計算による実施例を示す。図2の素子形状において、フィードスルー部に低誘電率層7がない場合および低誘電率層の厚さを変更した場合について、計算結果を図14に示す。基板本体はニオブ酸リチウム単結晶によって形成することとする。

【0080】図14から分かるように、フィードスルー部において低誘電率層がない場合には、基板本体2Aの厚さを15 $\mu$ mとし、中心電極幅を100 $\mu$ mとすると、50 $\Omega$ にインピーダンスマッチングさせるためには、フィードスルー部における電極間ギャップは500 $\mu$ m程度も必要となる。この結果、電極のマイクロ波特性が劣化することが容易に予測される。

【0081】一方、フィードスルー部において低誘電率層を設けた場合には、比誘電率4.0の低誘電率層の厚さを50 $\mu$ mとすると、電極間ギャップ120 $\mu$ mで特性インピーダンス50 $\Omega$ となる。つまり、比較例に比べて著しく電極間ギャップを小さくしても、フィードスルー部における特性インピーダンス整合が可能になった。

【0082】また、図2の素子形状において、フィードスルー部に低誘電率層7がない場合および低誘電率層7の比誘電率を変更した場合について、計算結果を

図 1 4 に示す。基板本体 2 A の厚さを  $15\ \mu\text{m}$  とし、中心電極幅を  $100\ \mu\text{m}$  とすると、 $50\ \Omega$  にインピーダンスマッチングさせるためには、フィードスルー部における電極間ギャップは  $500\ \mu\text{m}$  程度も必要となる。

【0083】一方、フィードスルー部において厚さ  $100\ \mu\text{m}$  の低誘電率層を設け、その比誘電率を変更した場合には、図 1 5 に示す結果が得られた。低誘電率層の比誘電率を低くすることで、特性インピーダンスが  $50\ \Omega$  となる電極間ギャップを著しく低減できることが分かる。

【0084】このように、低誘電率層の厚さ、比誘電率を変えれば、フィードスルー部における特性インピーダンスも変化する。以上から、低誘電率層の厚さおよび比誘電率とを調整することで、外部接続コネクタの電極間ギャップにあわせることが可能であり、良好な高周波特性をもったフィードスルー部を実現可能である。

【0085】次に、図 2 のデバイスについて、保持基体 10 の表面 10 a に導電層 23 を設けた場合について、計算を行った。基板本体の材質はニオブ酸リチウムとする。低誘電率層を設けず、基板本体下に基板下に導電層を直接設けた場合、中心電極幅  $100\ \mu\text{m}$ 、電極間ギャップ  $120\ \mu\text{m}$ 、変調器を構成する基板本体の厚さを  $15\ \mu\text{m}$  とすると、特性インピーダンスは  $17\ \Omega$  と非常に低くなってしまう。この場合、電極間ギャップを広げたとしても、導電層が GND の様に振る舞うために、インピーダンスを  $50\ \Omega$  まで上げることは不可能である。

【0086】一方、図 9 に示すように、導電層と基板本体 2 A との間に、比誘電率 4.0 の低誘電率層 7 (厚さ  $30\ \mu\text{m}$ ) を挿入すると、フィードスルー部における特性インピーダンスはほぼ  $50\ \Omega$  となる。従って、導電層によって基板の空洞共振を抑圧した状態で、特性インピーダンスを整合させることが可能となる。

【0087】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、光導波路デバイスの電極のフィードスルー部において、外部コネクタピンとの特性インピーダンス整合を図りつつ、電極部での構造分散を小さくし、浮遊インダクタンスおよび浮遊容量を低減できるような構造を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施形態に係る光導波路デバイス 1 A を概略的に示す平面図である。

【図 2】図 1 のデバイス 1 A の I I - I I 線断面図である。

【図 3】図 1 のデバイス 1 A の I I I - I I I 線断面図である。

【図 4】他の実施形態に係るデバイス 1 B を示す断面図であり、図 1 の I V - I V 線断面に対応する。保持基体 1 0 の表面 1 0 a に導電層 2 3 が形成されている。

【図 5】他の実施形態に係るデバイス 1 B を示す断面図であり、図 1 の V - V 線断面に対応する。

【図 6】更に他の実施形態に係るデバイス 1 C を概略的に示す断面図であり、接合層 7 の内側に空隙 6 が形成されている。

【図 7】更に他の実施形態に係るデバイス 1 D を概略的に示す断面図であり、接合層 7 の内側に空隙 6 が形成されている。

【図 8】更に他の実施形態に係るデバイス 1 E を概略的に示す断面図であり、接合層 7 の内側に空隙 6 が形成されており、かつ保持基体 1 1 に凹部 1 1 c が形成されている。

【図 9】更に他の実施形態に係るデバイス 1 F を概略的に示す断面図であり、接合層 7 の内側に空隙 6 が形成されており、保持基体 1 0 の表面に凹面 1 0 c が形成されている。

【図 1 0】更に他の実施形態に係るデバイス 1 G を概略的に示す断面図であり、保持基体 1 5 の全体が低誘電率材料からなる。

【図 1 1】更に他の実施形態に係るデバイス 1 H を概略的に示す断面図であり、保持基体 2 0 と基板本体 2 とが低誘電率層 2 1 によって接合されている。

【図 1 2】更に他の実施形態に係るデバイス 1 J を概略的に示す断面図であり、保持基体 1 8 と基板本体 2 とが光導波路領域において接合されており、フィードスルー部下には低誘電率層 1 9 A が設けられている。

【図 1 3】従来の光導波路デバイス 1 6 の形態を示す模式的断面図である。

【図 1 4】低誘電率層の厚さを変化させたときの、フィードスルー部における電極の特性インピーダンスの変化を示すグラフである。

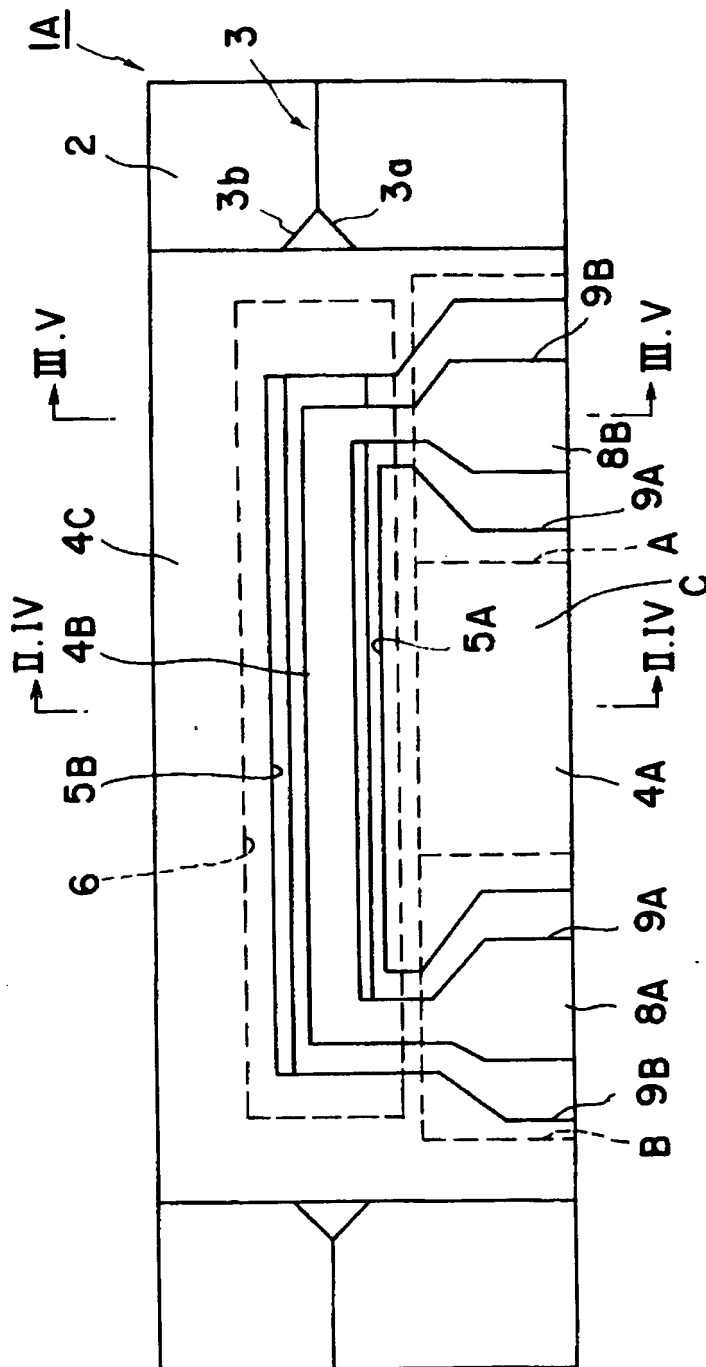
【図 1 5】低誘電率層の比誘電率を変化させたときの、フィードスルー部における電極の特性インピーダンスの変化を示すグラフである。

【符号の説明】 1 A、1 B、1 C、1 D、1 E、1 F、1 G、1 H、1 J 光導波路デバイス 2 基板本体 2 a 一方の主面 2 b 他方の主面 2 c、2 g 基部 2 d 第二の肉薄部分 2 f 第一の肉薄部分 3 a、3 b 分岐型光導波路 4 A、4 C 接地電極 4 B 中心電極 5 A、5 B 電極間ギャップ 6 光導波路領域下の空隙 7 接合層（低誘電率部分） 8 A、8 B 中心電極のコネクタピンとの接続部分 9 A、9 B フィードスルー部における電極間ギャップ 1 0、1 1、1 8、2 0 保持基体 1 5 低誘電率材料からなる保持基体 1 9 A、1 9 B 2 1 低誘電率層 2 2 光導波路基板 2 3 導電層 A、B フィードスルー部

【書類名】

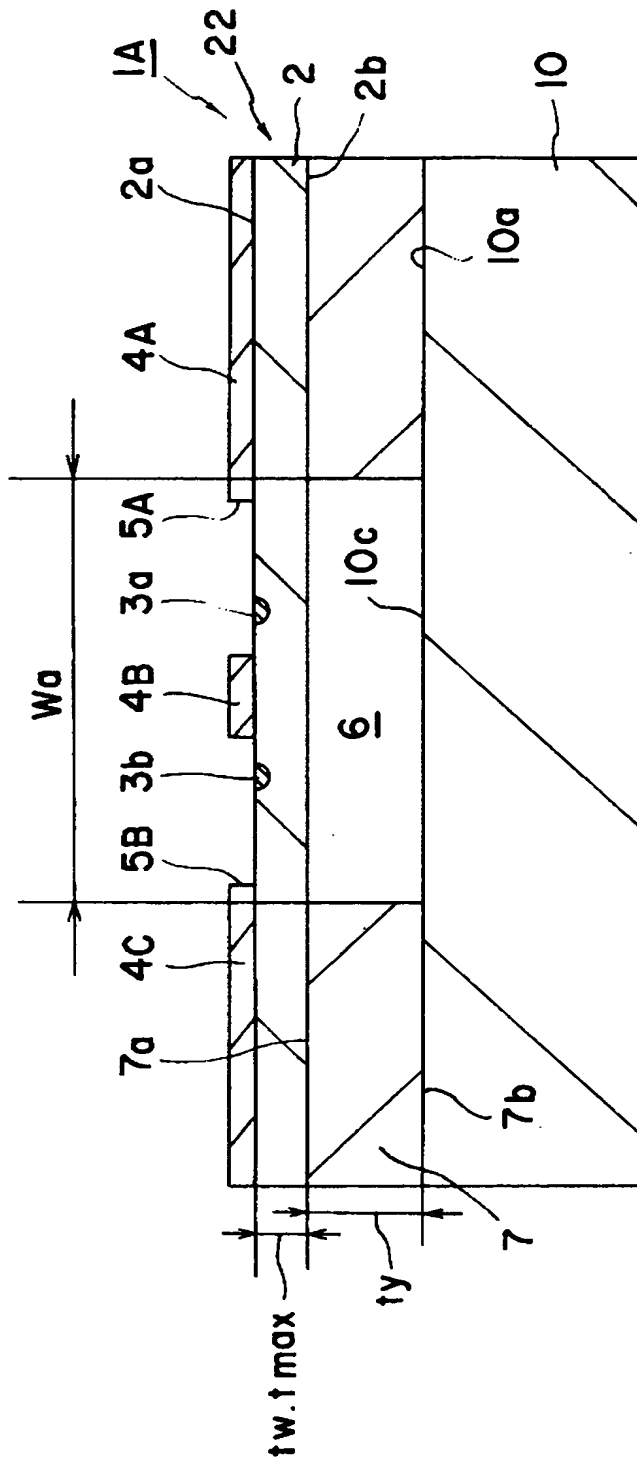
図面

【図 1】

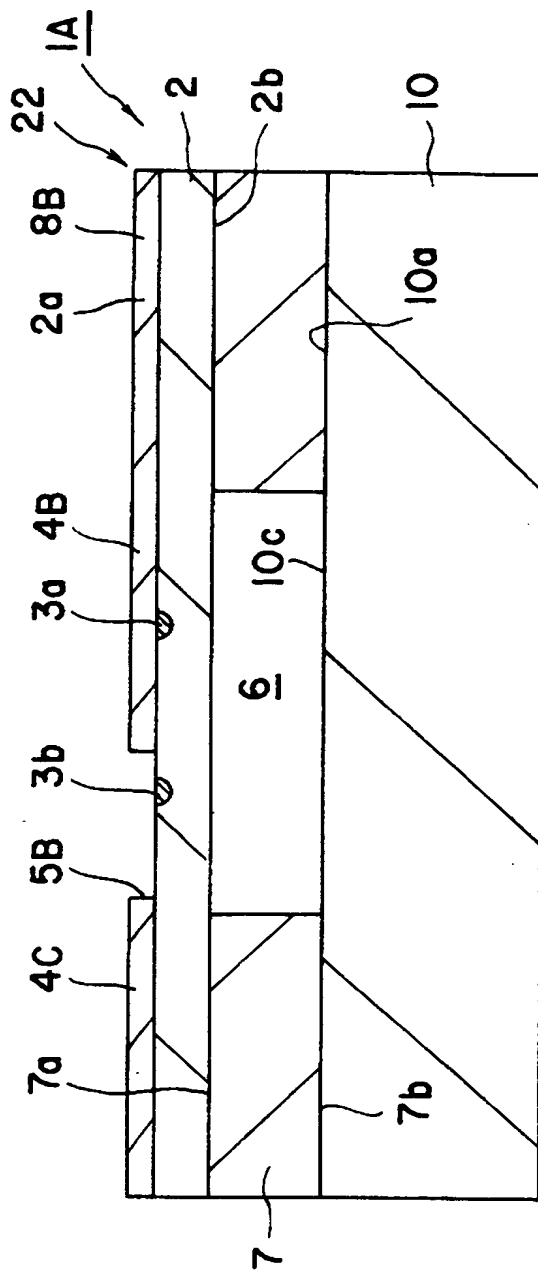




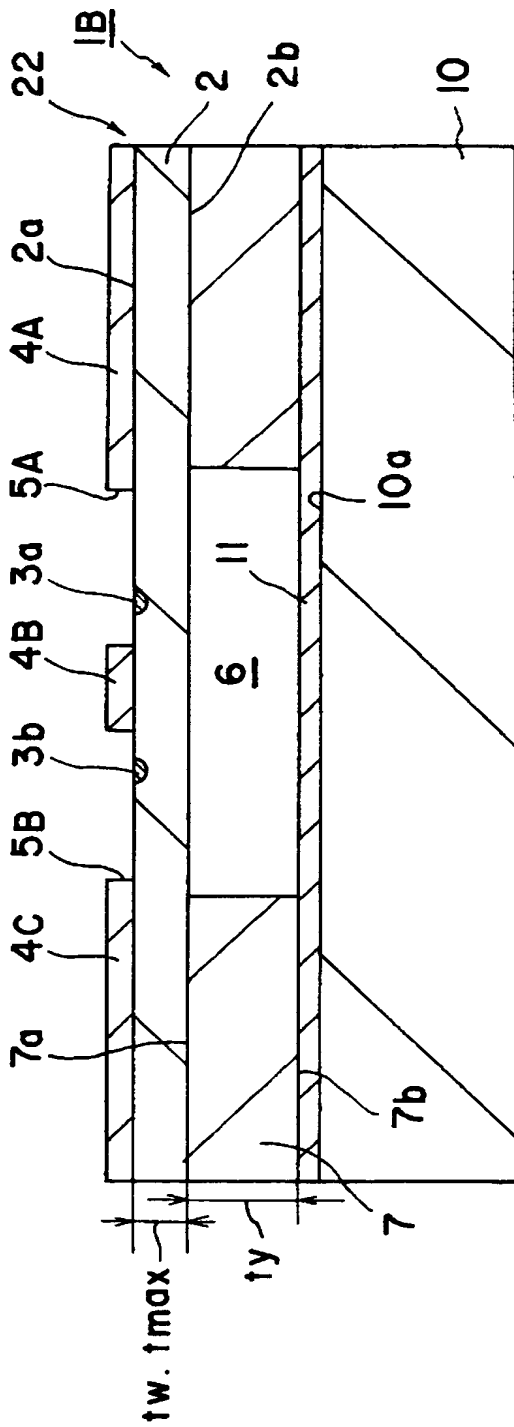
【図2】



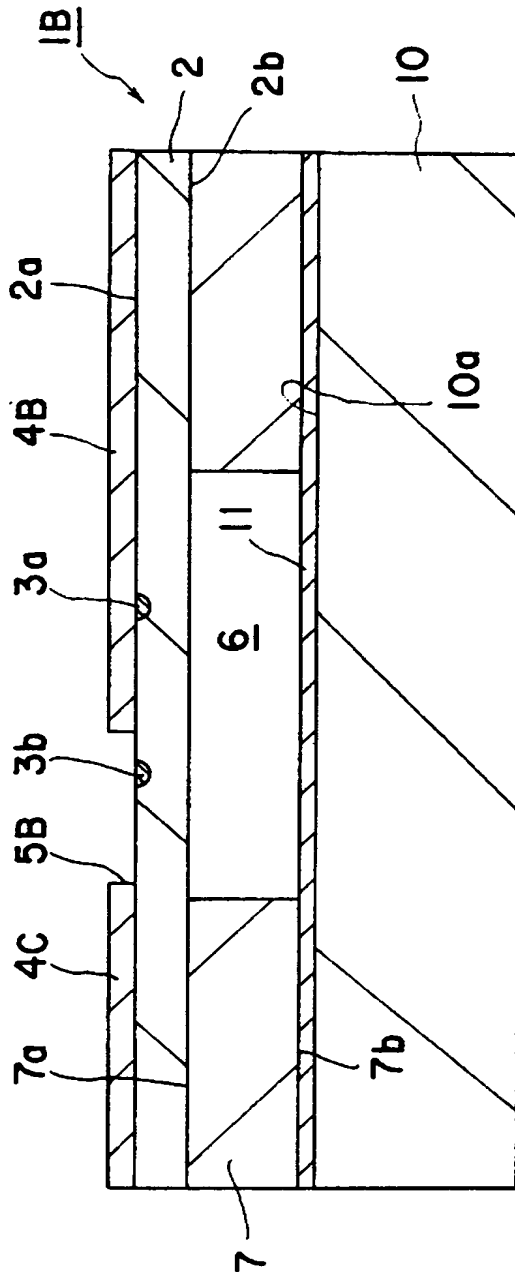
【図3】



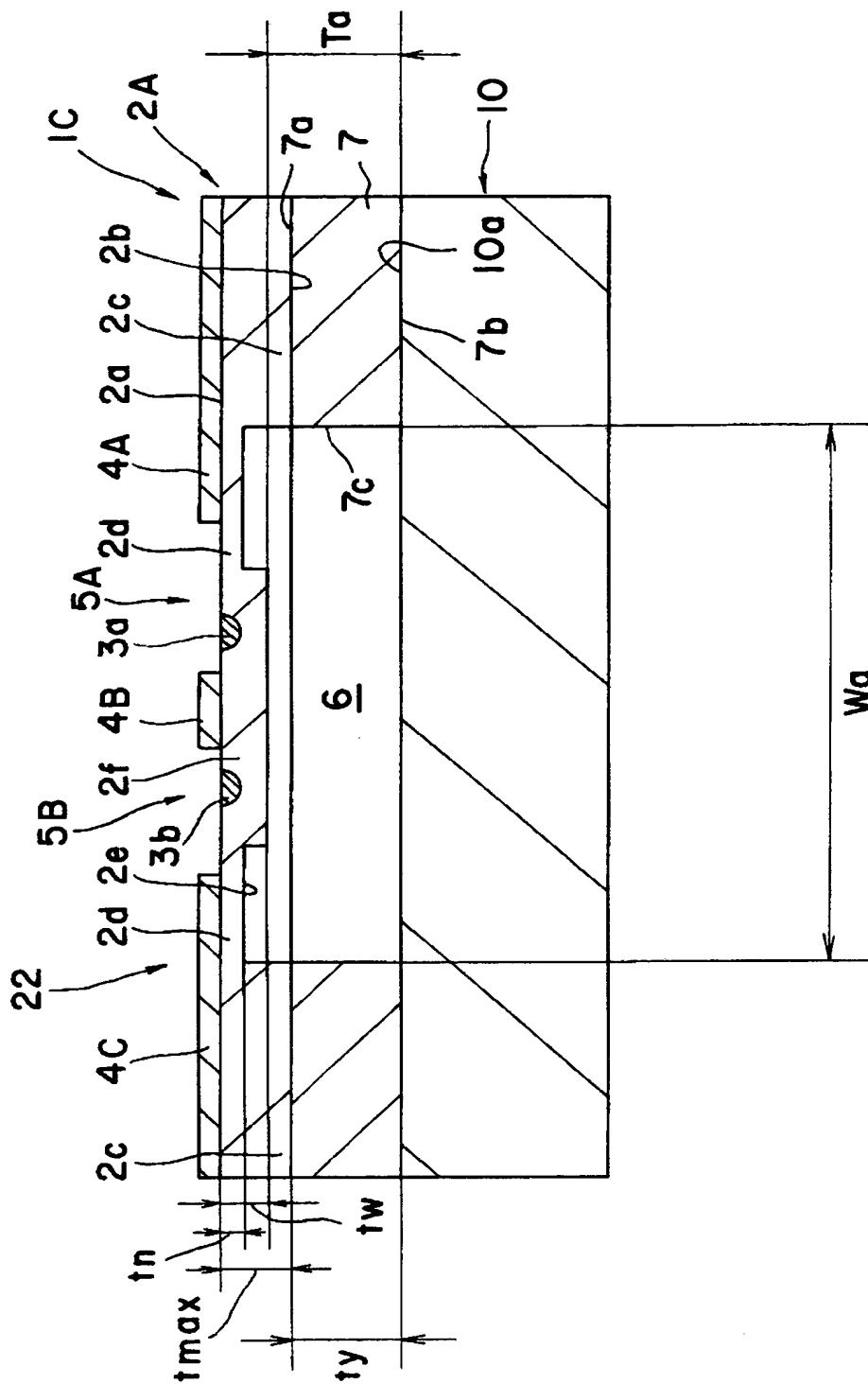
【図 4】



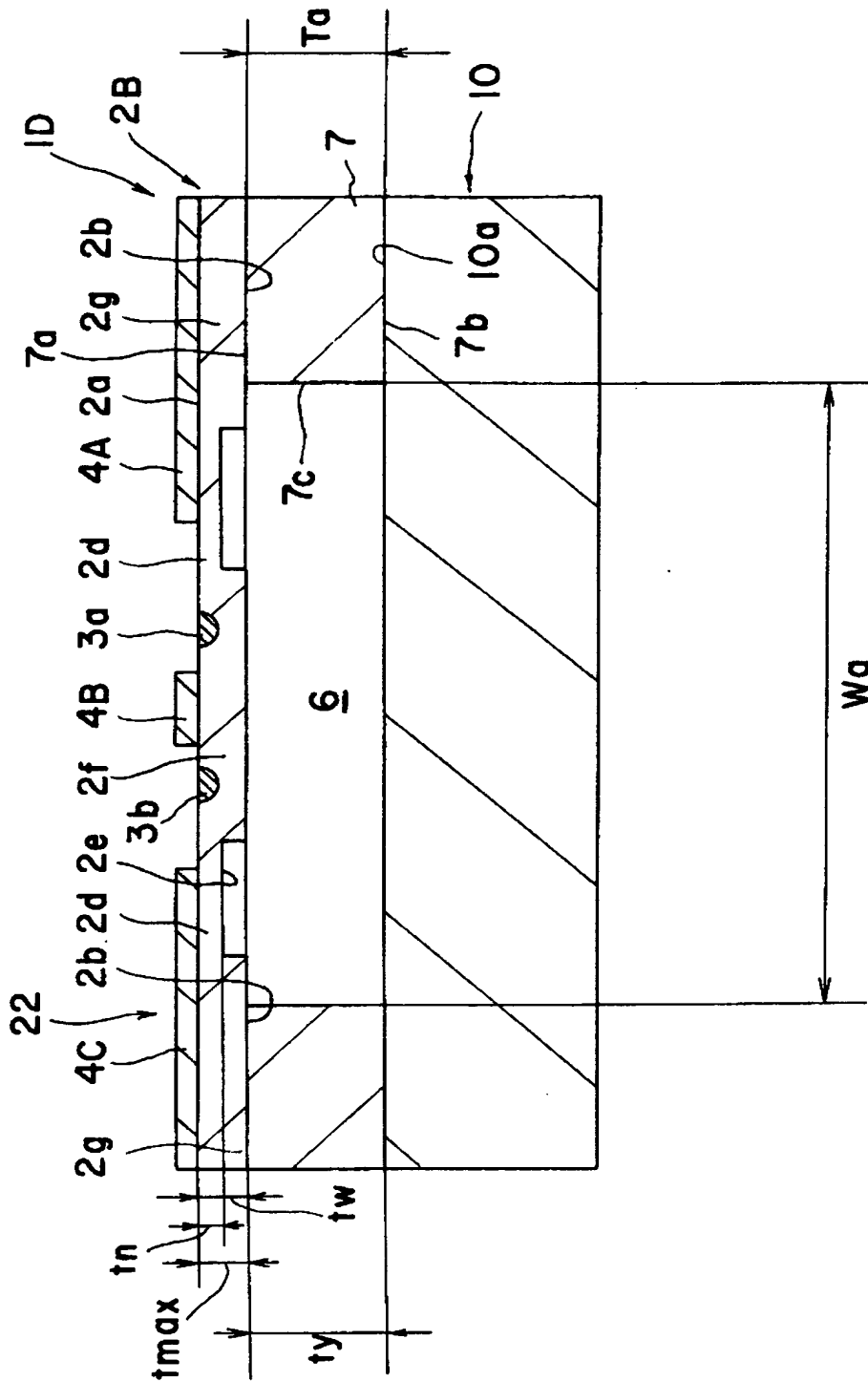
【図 5】



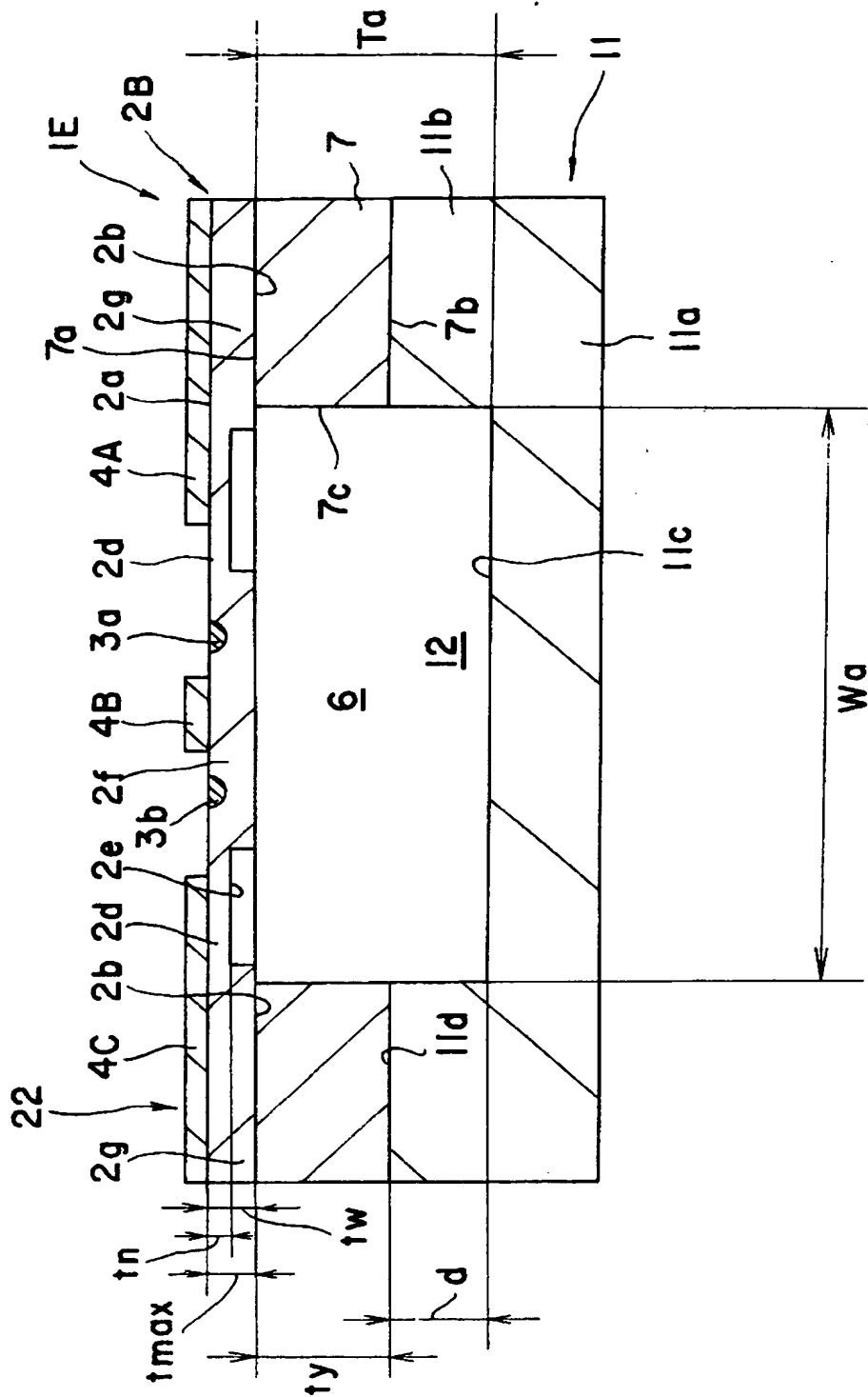
【图 6】



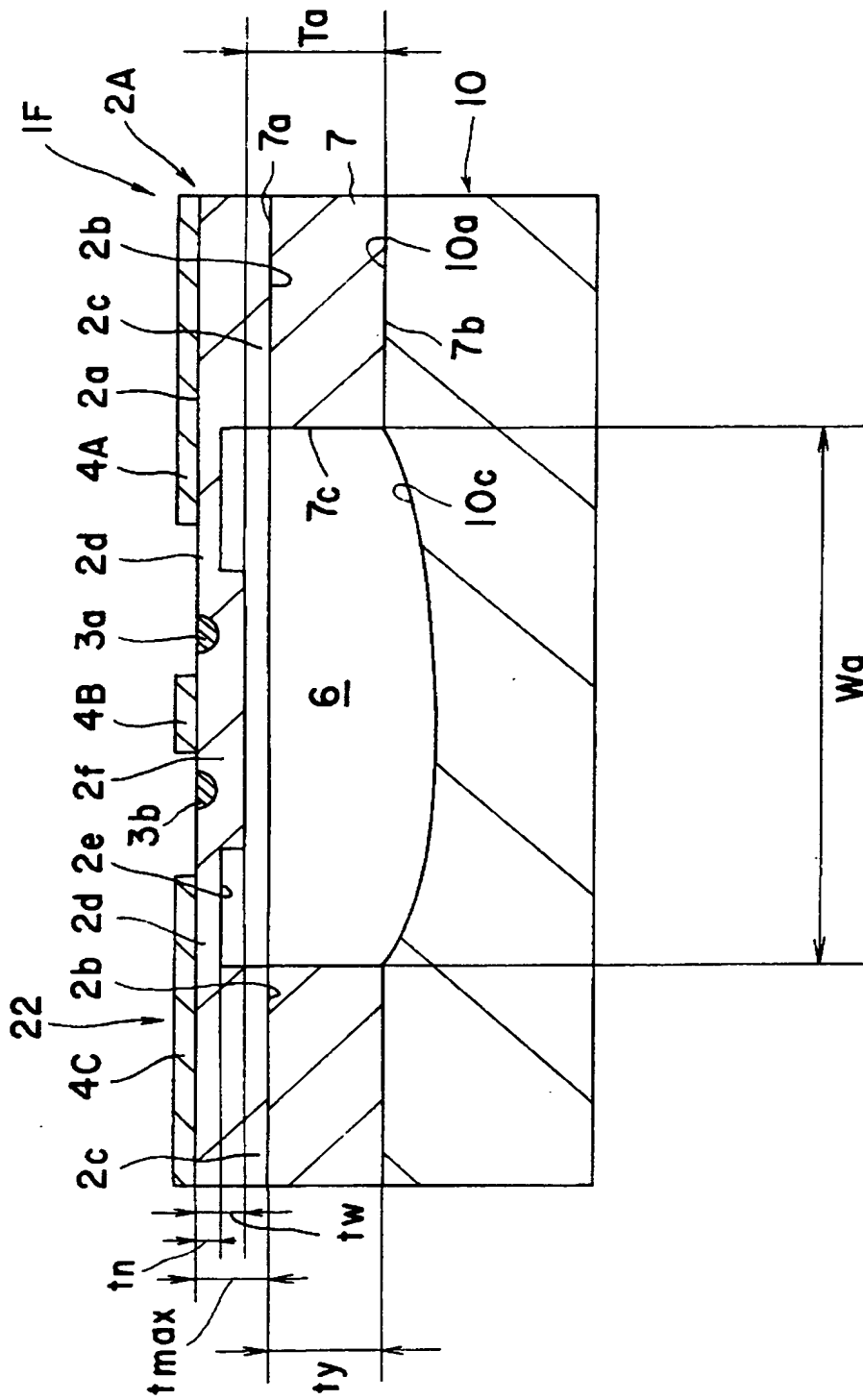
【図 7】



【図 8】

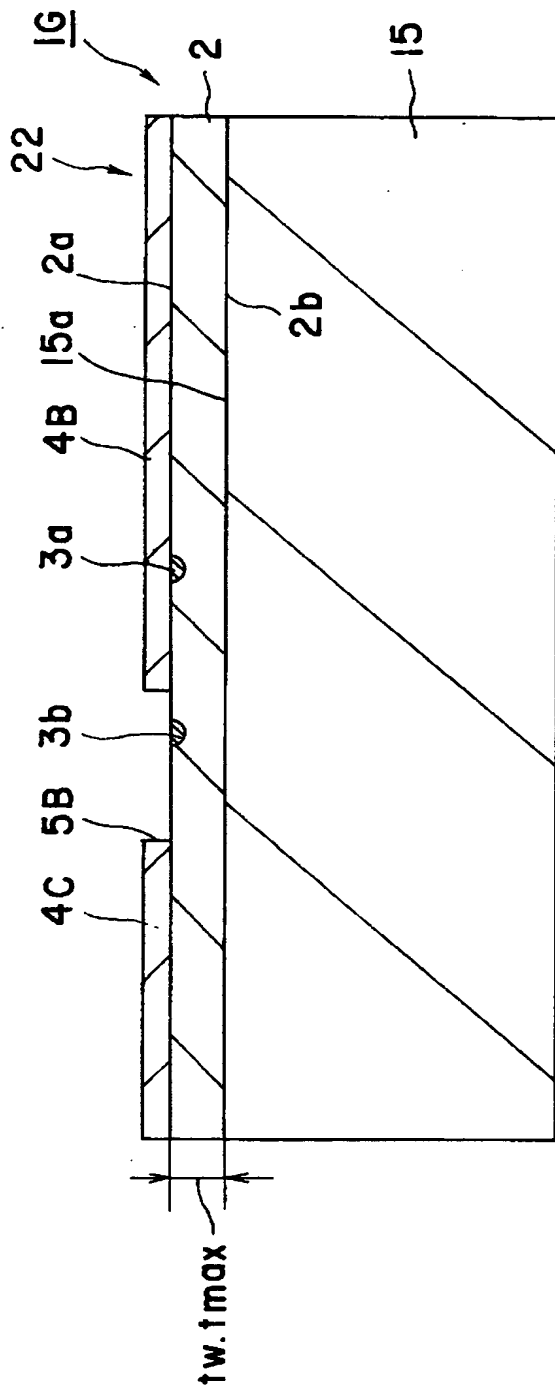


【図 9】

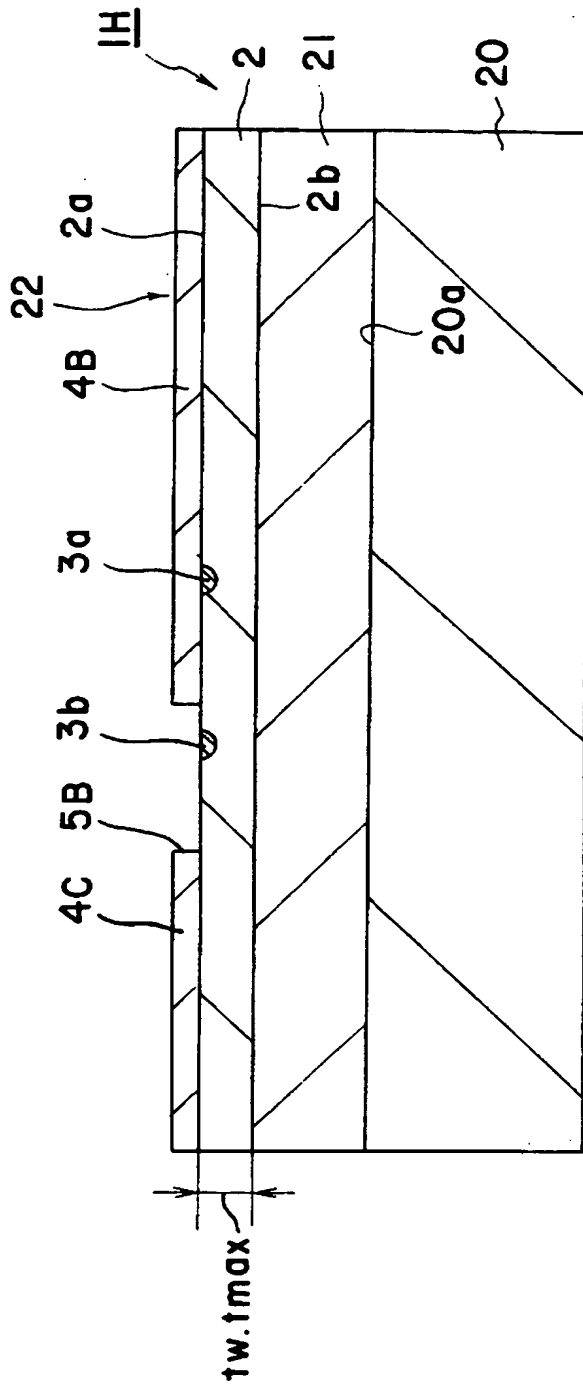




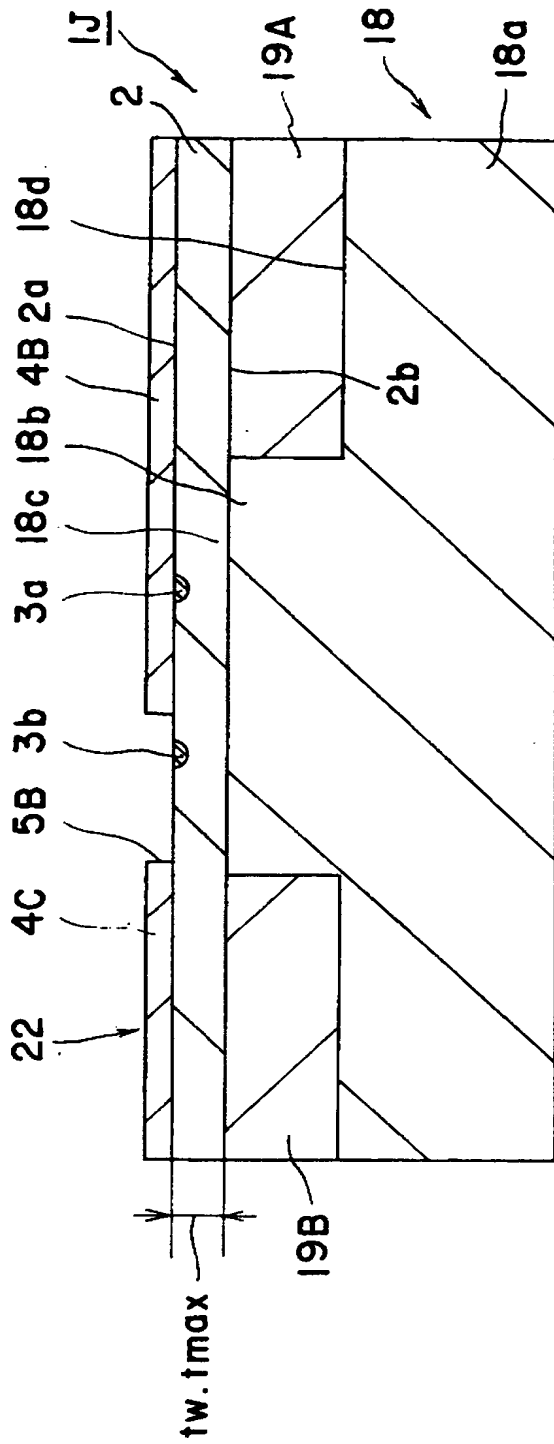
【図10】



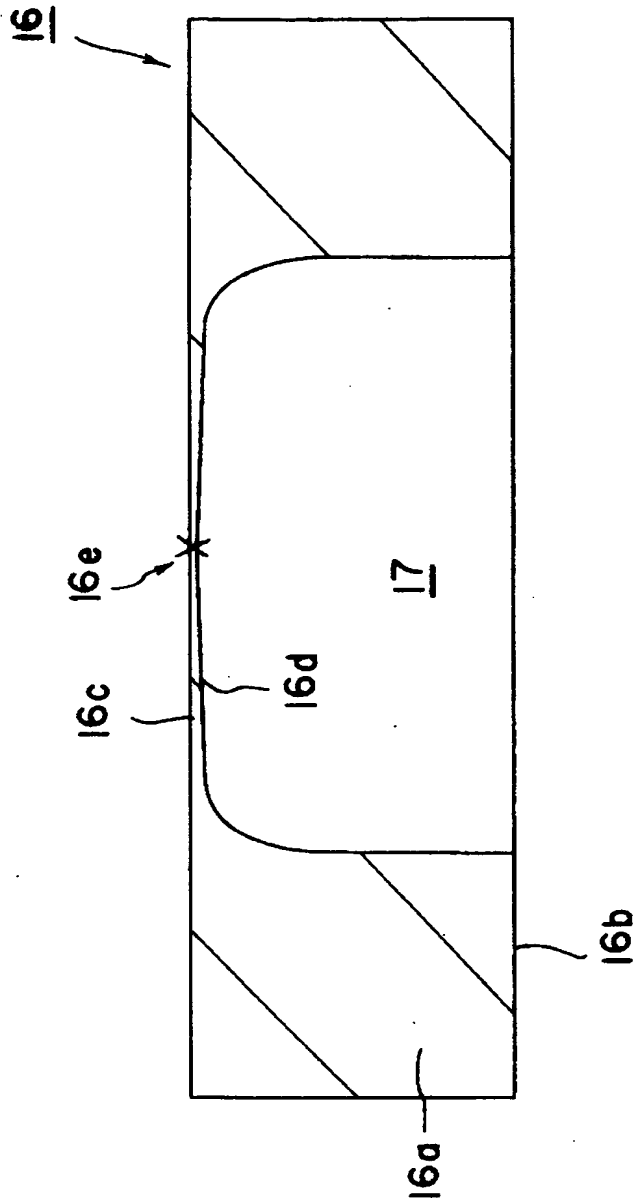
【図 11】



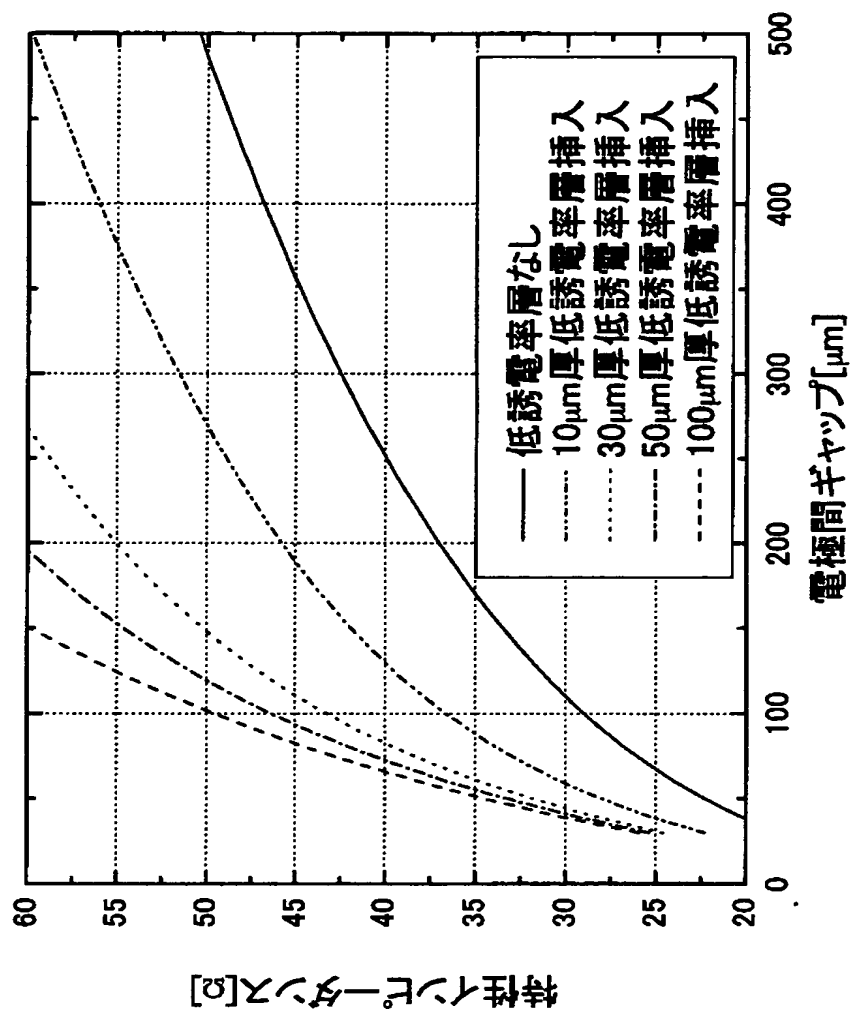
【図 12】



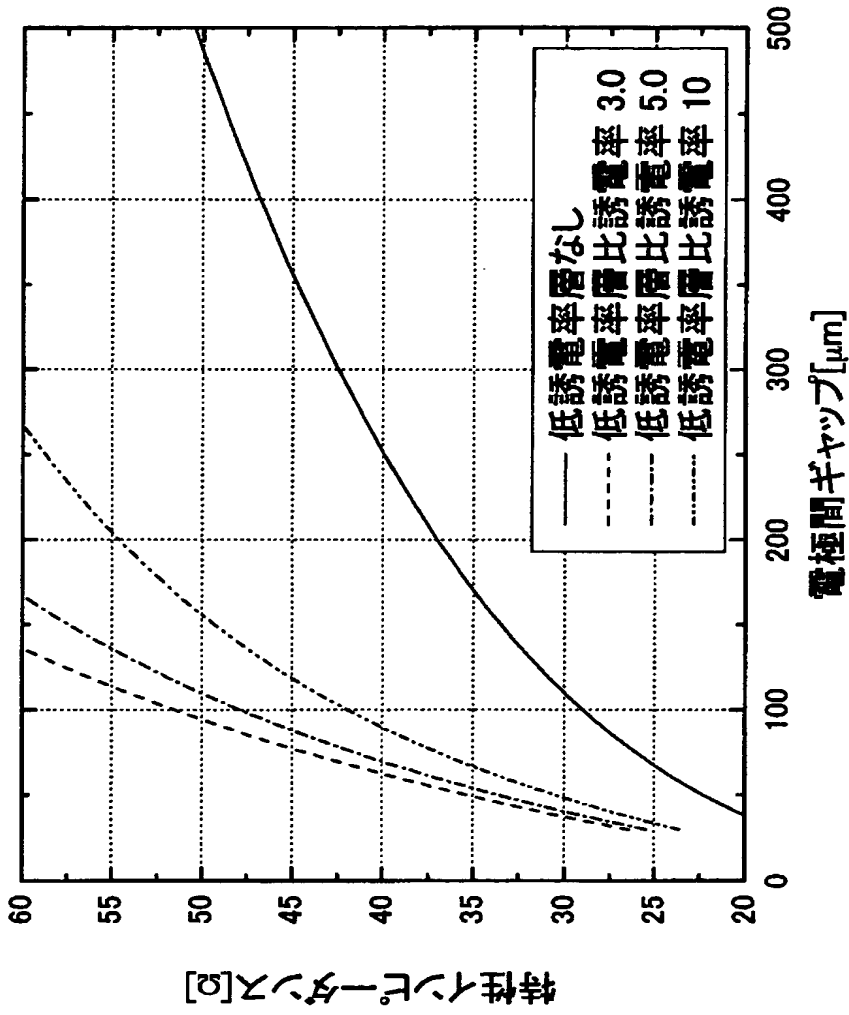
【図 13】



【図 14】



【図 1 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光導波路デバイスの電極のフィードスルー部において、外部コネクタピンとの特性インピーダンス整合を図りつつ、電極部での構造分散を小さくし、浮遊インダクタンスおよび浮遊容量を低減できるような構造を提供する。

【解決手段】 光導波路デバイス 1 A は、光導波路基板 2 2 と保持基体 1 0 とを備えている。光導波路基板 2 2 は、電気光学材料からなり、一方の主面と他方の主面とを備えている基板本体 2、本体 2 に形成されている光導波路 3 a、3 b、および本体 2 の一方の主面 2 a 側に設けられた電極 4 B、4 C を備えている。保持基体 1 0 が本体 2 の他方の主面 2 b 側に接合されている。電極がフィードスルー部を備えている。少なくともこのフィードスルー部において本体 2 の他方の主面 2 b 下に低誘電率部分 7 が設けられている。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 0 6 4 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号

氏 名 日本碍子株式会社